TRAVAUX PRATIQUES
SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGENIEUR

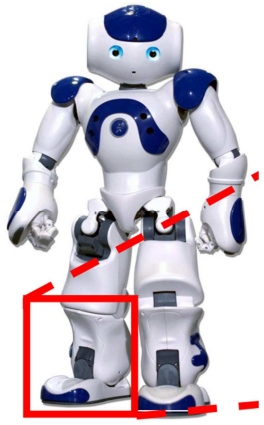
Expérimenter et modéliser pour concevoir un système pluritechnologique

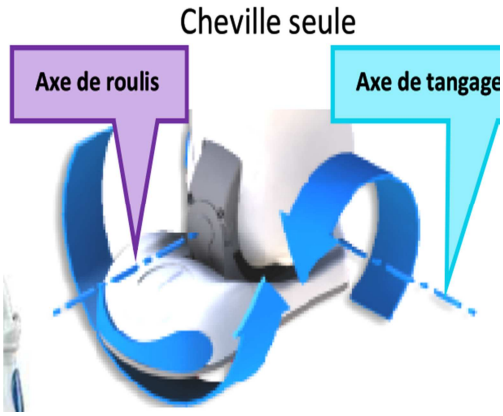
CI24 CI25 CI26

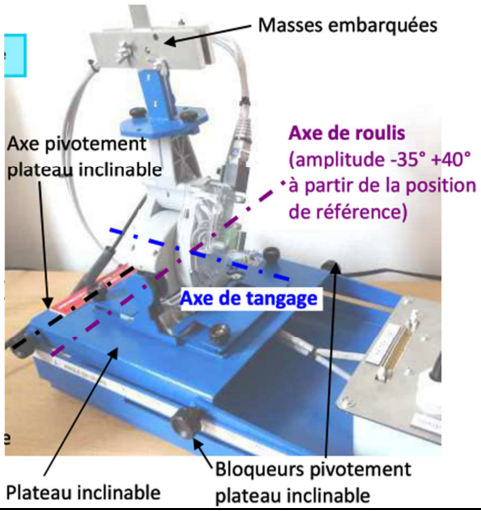
Maintenir en position une articulation de robot (NAO)

Problématique : *Ingénieurs dans un bureau d'étude, vous êtes chargés à partir d'expérimentation, d'établir un modèle de comportement de système, puis de définir les solutions techniques et le choix technologique d'éléments le constituant.*

La conception d'un robot repose sur l'association d'articulations motorisées dont il faut maîtriser les positions angulaires relatives pour assurer l'équilibre global de ce robot.






Masses embarquées
Axe pivotement plateau inclinable
Axe de roulis (amplitude -35° +40° à partir de la position de référence)
Axe de tangage
Plateau inclinable
Bloqueurs pivotement plateau inclinable

Démarche à suivre et problématique : La résolution de la problématique proposée est faite sous forme collaborative en trois activités autour du même support *(travail en îlot).*

ACTIVITE 1 CI25 (2H) : Identifier les contraintes et la nature des déformations et sollicitations de la structure, donner un modèle de description par l'écriture du torseur de cohésion. Préciser les critères de choix des matériaux et de leur dimensionnement.

- Utiliser le système réel et son modèle 3D, observer son comportement et exploiter des mesures afin de faire un bilan des éléments importants pour la déformation des matériaux.
- Proposer une synthèse permettant de donner les pistes de conception du système et éventuellement de l'améliorer.

ACTIVITE 2 CI24 (2H) : Contrôler les performances d'un système asservi pour assurer sa sécurité thermique, électrique et mécanique (contrôle du courant maximal).

- Exploiter le système existant et relever l'allure du courant d'alimentation transitoire et permanent.
- A partir des caractéristiques du système réel montrer que sa sécurité thermique, électrique et mécanique nécessite de limiter le courant maximal d'alimentation.
- Proposer des solutions matérielles et logicielles de mise en œuvre d'une limitation du courant d'alimentation d'une machine électrique de type MCC.

ACTIVITE 3 CI26 (2H) : Acquérir et traiter des informations analogiques sous forme numérique afin d'obtenir un modèle de comportement

- Configurer et raccorder une carte d'acquisition numérique multi entrées (DAQ NI6009) sur des signaux analogiques courant et vitesse d'un système existant
- Faire l'acquisition et traiter les données pour établir un modèle de comportement
  - Par une méthode graphique et des abaques
  - Par une méthode numérique et un tableur (Excel)
- Extrapoler la méthode suivie à votre démarche de TIPE

SYNTHESE DES 3 ACTIVITES ET COMMUNICATION ORALE (1H) :

Voir consignes fixées

Désignation d'un rapporteur et synthèse orale de 5 minutes devant un professeur.

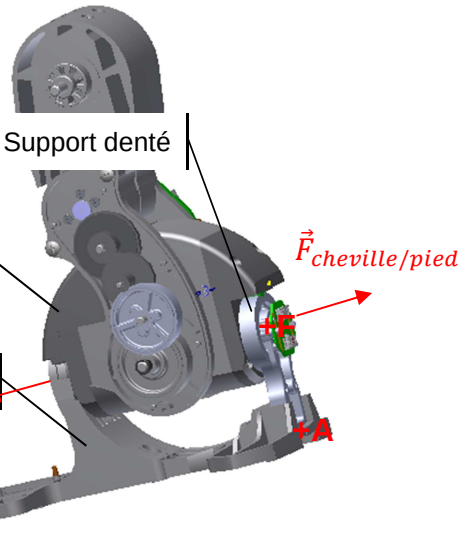
ACTIVITE 1 CI25 (2H) : Contraintes, déformations et sollicitations de la structure / Critères de choix des matériaux et de leur dimensionnement.

Approche globale du dimensionnement d'un système

1. Dans le cas de problèmes statique ou/et dynamique, quel est l'intérêt de déterminer les différentes actions mécaniques ? Autrement dit, pourquoi est-ce primordial de connaitre les efforts et les moments qui se propagent dans les différentes pièces d'un mécanisme ?
2. Citer 3 critères qui définissent la capacité d'une pièce à transmettre des actions mécaniques.

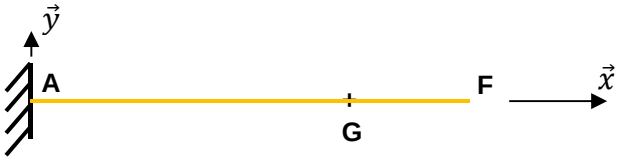
Système étudié : pied et cheville du robot NAO

On veut vérifier que les efforts engendrés par la cheville sur le pied, lors de certaines positions prises par le robot, ne détériore pas le support denté vissé dans la structure du pied.



3. En observant le système réel, justifier que le support denté peut être assimilé à une poutre pour une étude de résistance des matériaux.

   Un modèle poutre très simplifié de ce support est proposé :

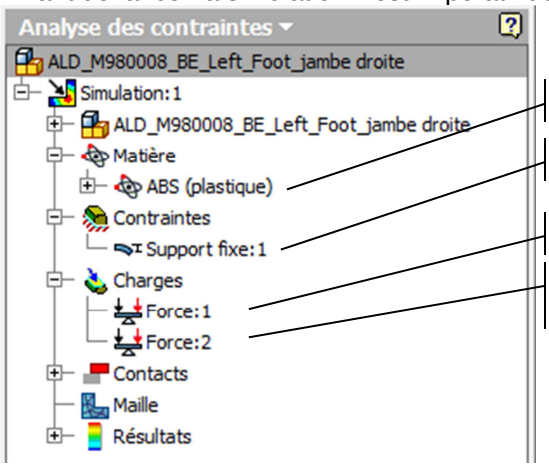


4. Représenter ce modèle sur votre compte-rendu et mettre en place l'action $\vec{F}_{C/p}$, correspondant à l'action de la cheville sur le pied en F.
5. Proposer une démarche (détaillée) permettant de déterminer les sollicitations présentes tout le long du secteur denté.
6. En fonction des actions mécaniques présentes, établir le type de sollicitations subies par le secteur. Donner l'allure du torseur de cohésion au point G.
7. A partir de votre « intuition » (et de votre expérience technique …) représenter le plus précisément possible (sans notion d'échelle) la déformation du secteur subissant cette action $\vec{F}_{C/p}$.
8. Les différents éléments du robot sont asservis en position (programme déplacement robot). A partir du constat fait lors de la question précédente, quelle conclusion peut-on tirer entre la précision de l'asservissement et la déformation des pièces ?

Etude des résultats donnés par le modèle numérique

9. A partir de l'assemblage « cheville.iam », ouvrir « ALD_M980008_BE_Left_Foot_jambe droite:1 ». Dans l'onglet « Environnements », « Analyse des contraintes », créer une nouvelle simulation statique.

Avant de lancer la simulation il est impératif de compléter certaines informations :

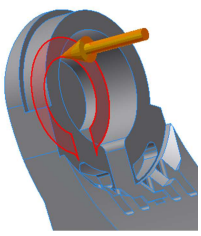


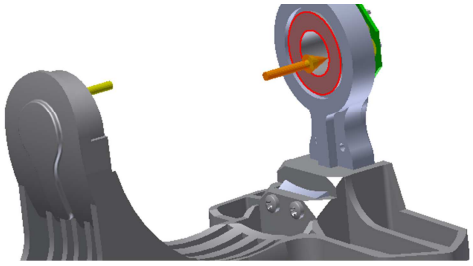
Sélectionner de l'ABS pour tous les composants

Le dessous du pied sera considéré comme fixe

Appliquer une charge de 50 N au point F (suivant Z, repère global)

Appliquer une charge de 50 N au point F', symétrique de F(suivant Z, repère global)





10. Visualiser le « maillage » par défaut de la pièce. A quoi correspond ce maillage ? justifier brièvement l'intérêt de résoudre le problème par logiciel. Ressource possible : http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_des_%C3%A9l%C3%A9ments_finis.

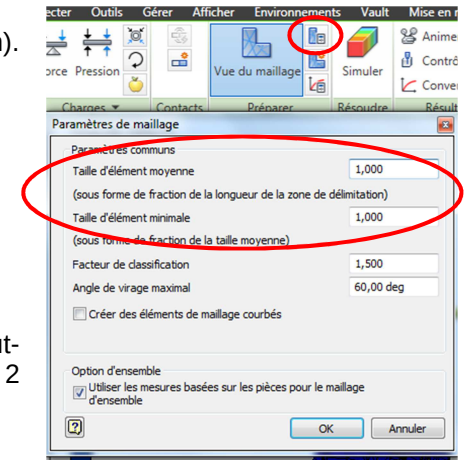
11. Lancer la simulation. Dans « Résultats », « Contrainte équivalente », relever la valeur maximum des contraintes équivalentes dans la pièce.

12. Relever également le « Déplacement » maximum de la pièce. Compléter votre réponse à la question 8 si nécessaire.

13. Les déplacements des 2 parties du pied soumises aux efforts sont-ils équivalents ? justifier en fonction des solutions de conception mises en œuvre.

14. Modifier la taille moyenne des éléments du maillage :

Mettre à jour le maillage (clic droit sur « Maille » dans l'arbre de construction). Relancer une simulation.



15. Les valeurs des contraintes et du déplacement ont-elles évolué ?

16. Quel est le principal avantage d'avoir un maillage très fin ? Et quel peut-être le principal inconvénient ? Proposer une solution optimisant ces 2 aspects ?

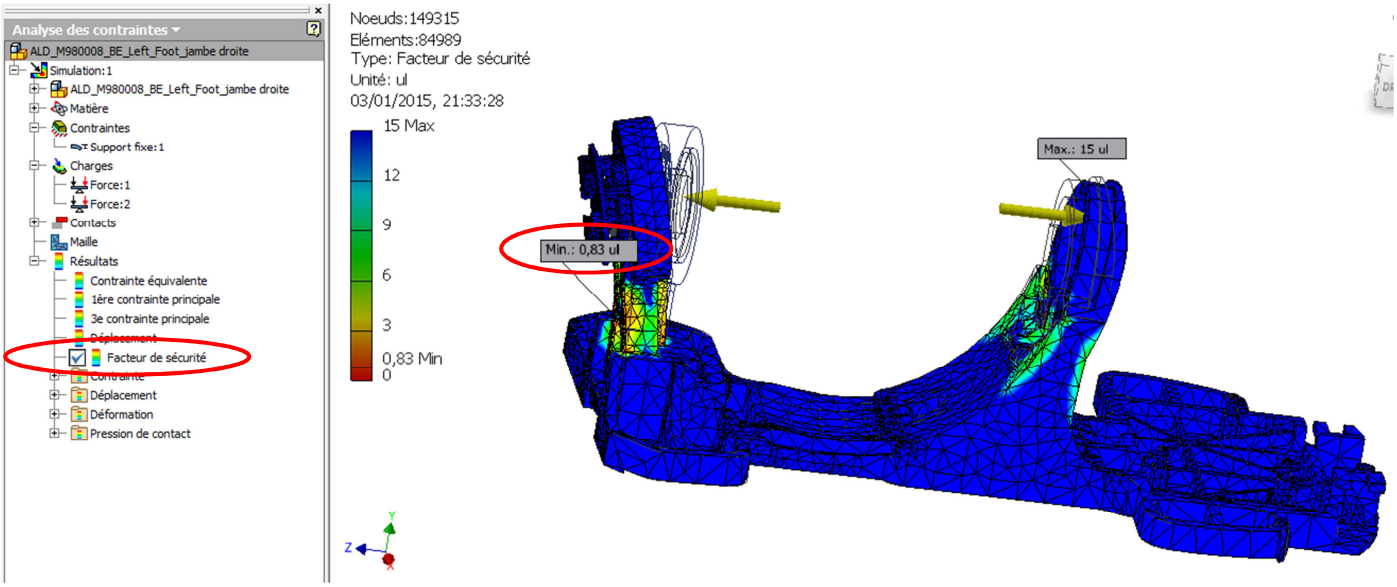
Revenir à la finesse de maillage précédente.

Influence du matériau sur le comportement du bras

17. Modifier la « Matière » associée au bras, en sélectionnant de l'Aluminium 6061. Relancer une simulation. L'influence sur le déplacement est-il conséquent ?

18. A partir de l'éditeur de styles (onglet « Matière »), repérer le(s) paramètre(s) prépondérants dans la résistance du matériau.

19. A partir du critère de limite élastique de l'ABS et de la valeur de la contrainte équivalente maximale répertoriée dans la pièce, retrouver la valeur du coefficient de sécurité minimum.



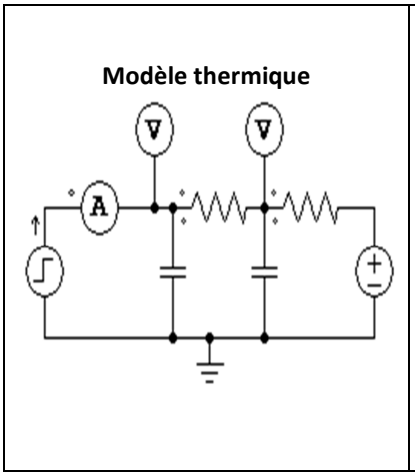
Quelle conclusion peut-on faire sur le choix de ce matériau avec un coefficient de sécurité = 0,83 ?

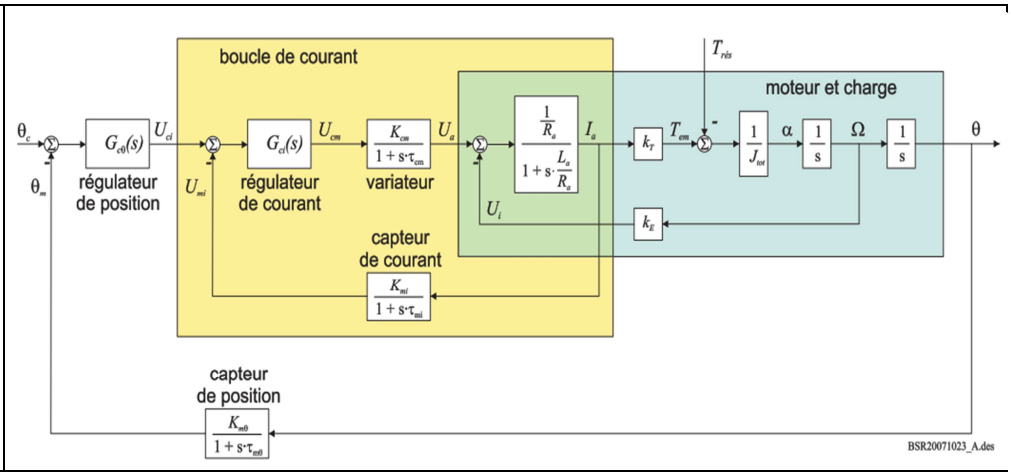
20. Proposer 3 modifications différentes de conception (croquis au crayon sur votre compte-rendu) permettant de remonter ce coefficient ? Penser au matériau, à la forme et aux dimensions …

Synthèse

21. Où et quand intégrer une démarche de dimensionnement dans le cadre général d'une conception d'un système ? donner des précisions sur les démarches de résolution envisagées (expérimentales, simulations). Associer les résultats obtenus avec l'aspect asservissement de ce même système.

ACTIVITE 2 CI24 (2H) : Contrôler les performances d'un système asservi pour assurer sa sécurité thermique, électrique et mécanique (contrôle du courant maximal).





TRAVAIL EXPERIMENTAL PREPARATOIRE

Prendre connaissance du mode d'emploi du système « cheville NAO » et de la notice du logiciel d'asservissement.

AVERTISSEMENT IMPORTANT : Ne jamais agir manuellement sur la cheville alors que le système de positionnement est activé, ceci entraîne une dégradation mécanique de l'entraînement extrêmement fragile.

1. CHARGER la cheville avec une masse de 200 g en extrémité de règle si ce n'est déjà le cas.
2. METTRE en service le système et COMMANDER la cheville en pilotage interactif de type « joystick » sur ses 2 axes. NOMMER des 2 angles contrôlés et IDENTIFIER ces 2 mouvements sur votre propre cheville.
3. ACCEDER au réglage du correcteur PID et REGLER la valeur de Kp à 100, celles de Ki et Kd à la valeur « 0 ».
4. FAIRE un essai indiciel d'environ 20° à partir de la position verticale, dans un sens puis dans l'autre.
5. ENREGISTRER les tracés de la réponse **du courant moteur et** l'IMPRIMER sur feuille.
6. METTRE en œuvre la mesure du courant moteur avec un oscilloscope et une sonde de courant en mode monocoup. ENREGISTRER la réponse en courant et la REPORTER sur feuille.
7. COMPARER les deux enregistrements obtenus par le logiciel et par l'oscilloscope. COMMENTER.
8. RELEVER la valeur du pic de courant et du courant permanent moyen lorsque la position est atteinte.

CONTRAINTES ELECTRIQUES, MECANIQUES ET THERMIQUES, MODELE THERMIQUE

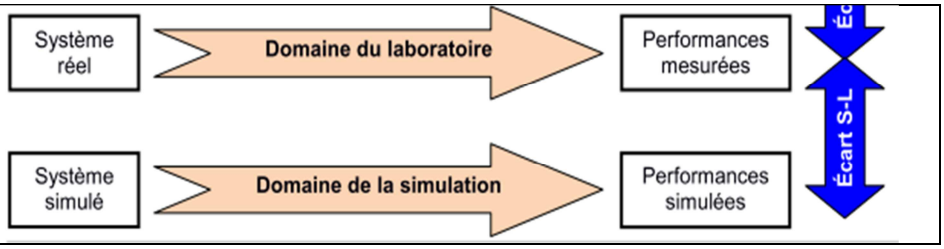
9. EXPLOITER la notice de la machine type « ***Portescap-22NT82-213P »,*** RELEVER et FOURNIR **en unités SI** :
   - La constante de couple K_T, la résistance de l'induit R_A
   - Le courant maximal permanent I_n, le couple de blocage à l'arrêt (stall torque),
   - Les résistances thermiques rotor/boitier et boitier/ambiant,
   - Les constantes de temps thermiques du rotor et du stator.
10. DETERMINER numériquement le courant correspondant au couple de blocage.
11. CALCULER pour le courant de pointe et le courant permanent de maintien de la cheville avec la masse de 200g, Le couple électromagnétique T_{EM} et les pertes joules rotor P_{JR}.
    COMPARER T_{EM} au couple de blocage (stall couple).
12. ETABLIR le modèle thermique du moteur entre le rotor et l'ambiant. PRECISER toutes les valeurs numériques connues. METTRE en place les capacités thermiques et DEDUIRE leurs valeurs.
13. La température maximale du rotor ne devant pas dépasser 155°C, la cheville étant à l'arrêt avec masse en place, DEDUIRE par le calcul le courant thermique maximal permanent I_{thp} à limiter si la température ambiante est de 25°C. DETERMINER le couple de maintien T_{em} de la cheville qui lui correspond.

SYNTHESE DE L'ACTIVITE, ROLE D'UNE BOUCLE DE CONTROLE DU COURANT

14. RESUMER l'activité que vous avez menée et justifiant l'importance de contrôler le courant dans une application.
15. PROPOSER une solution de mise en œuvre d'une boucle de courant en précisant :
    - Deux solutions technologiques pour le capteur de courant,
    - Une solution de mesure réelle de la température atteinte par le boitier (stator) du moteur.
16. L'échauffement étant dû au produit de la puissance joule par le temps, PROPOSER une structure d'algorithme en langage naturel avec détail des calculs à effectuer, permettant de connaître en temps réel l'énergie dissipée dans le rotor du moteur à partir de la mesure du courant.

ACTIVITE 3 CI26 (2H) : Acquérir et traiter des informations analogiques sous forme numérique

carte NI6009



L'objectif de cette activité est de maîtriser la méthode permettant d'établir le modèle comportemental d'un système existant à partir d'un essai indiciel, ici une MCC lors de son démarrage.

L'acquisition des variables utiles sera faite à l'aide d'un module d'acquisition numérique, puis seront exploitées soit à partir de la réponse graphique, soit à partir d'un tableur et d'un fichier de points.

EXPLOITATION DE LA NOTICE du DAQNI6009 ET CONFIGURATION DE L'ACQUISITION

Utiliser la notice résumée de la carte et du logiciel d'acquisition.

1. Indiquer à l'aide de schémas la différence entre l'acquisition d'un signal en mode Différentiel (DIF) et en mode « Reference Single-Ended » (RSE).
2. Déduire de ce qui précède le nombre maximum d'acquisitions simultanées analogiques pour une carte NI6009 dans chacun des 2 modes.
3. Indiquer la fréquence d'échantillonnage maximum de la carte.
4. Si on utilise 4 voies en mode DIFF, indiquer la fréquence d'échantillonnage possible pour chaque voie.
5. Indiquer les caractéristiques de la conversion CAN en nombre de bits et en déduire la résolution de mesure ou quantum.

MISE EN ŒUVRE : ACQUISITION DE LA VITESSE ET DU COURANT DE DEMARRAGE D'UNE MCC

L'alimentation de la machine est réalisée à travers un hacheur série, piloté par un GBF en mode Burst (voir notice) qui fournit un créneau unique de déclenchement du GBF. Un appui sur Trig déclenche une impulsion de commande de l'IGBT et provoque l'alimentation du moteur.

- La vitesse est mesurée par une dynamo tachymétrique délivrant une tension proportionnelle à la vitesse.
- Le courant est observé à l'aide d'une sonde à effet Hall.
- Une carte d'acquisition NI6009 permet de récupérer le signal sur ses entrées analogiques.

6. Relever les caractéristiques utiles à la mesure pour les 2 capteurs utilisés. Estimer les amplitudes maximales des signaux à relever à partir des caractéristiques de la MCC.
7. Proposer le schéma de câblage de façon à utiliser :
   - la première entrée en mode DIF pour la vitesse
   - la seconde entrée en mode RSE pour le courant
8. **Réaliser le câblage seulement s'il est validé par un professeur**

Utiliser pour la suite le document « Mise en œuvre SignalExpress NI6009.doc »,

9. Configurer les 2 entrées choisies avec le logiciel Labview Signal Express, déclarer le type de variables enregistrées, configurer les coefficients des capteurs de façon à obtenir le courant directement en ampère et la vitesse en tr/min.
10. Définir les critères que vous vous fixez pour configurer la fréquence d'échantillonnage et la durée d'acquisition des signaux. Réaliser cette configuration.
11. Faire l'acquisition. Exporter les données de mesure dans un tableur Excel de façon à pouvoir les exploiter ultérieurement.

MODELISATION EXPERIMENTALE, ETABLISSEMENT DU MODELE

12. Etablir de 2 façons le modèle expérimental (fonction de transfert) entre la tension d'induit et la vitesse de rotation de la machine soit H(p) = Ω(p) / U(p).
    - Méthode graphique à partir du tracé en utilisant le document *Méthodes et abaques d'identification2014.doc*
    - Méthode numérique à l'aide d'un tableur *(fichier Identif_numérique_ordre2_passe_bas.xlsx).*

Dans chaque méthode choisir en justifiant une forme d'écriture canonique de type ordre 1 ou ordre 2 passe bas et définir ses caractéristiques.

SYNTHESE DE L'ACTIVITE, extrapolation à votre TIPE

13. Indiquer sous forme résumée la démarche que vous avez suivie, les points qui vous semblent importants et les difficultés que vous avez rencontrées.
14. Essayez d'envisager une démarche comparable pour une acquisition utile à votre TIPE en listant les grandeurs pertinentes à mesurer et les capteurs que vous faudra utiliser.

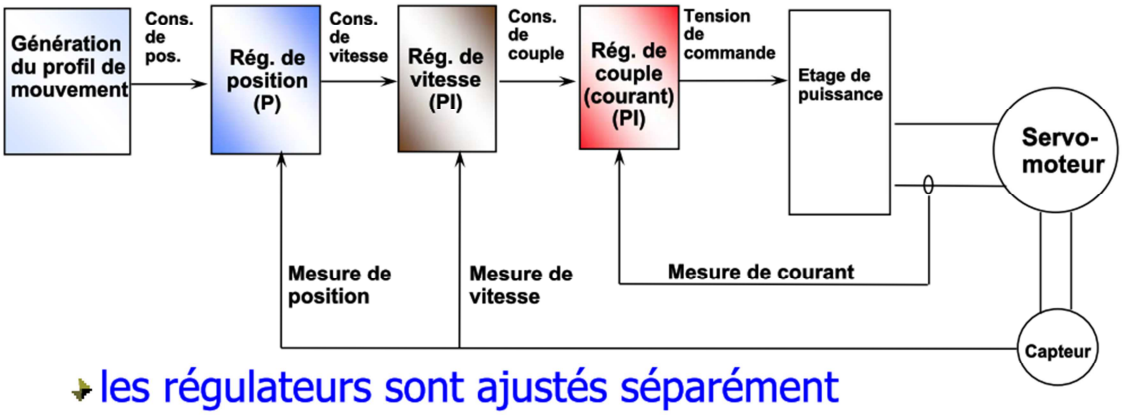
Documents pour l'activité 2

Product Designation 22NT 82 213P 1001 09/10
1011226001. S30 Part No. 1011226001

Portescap

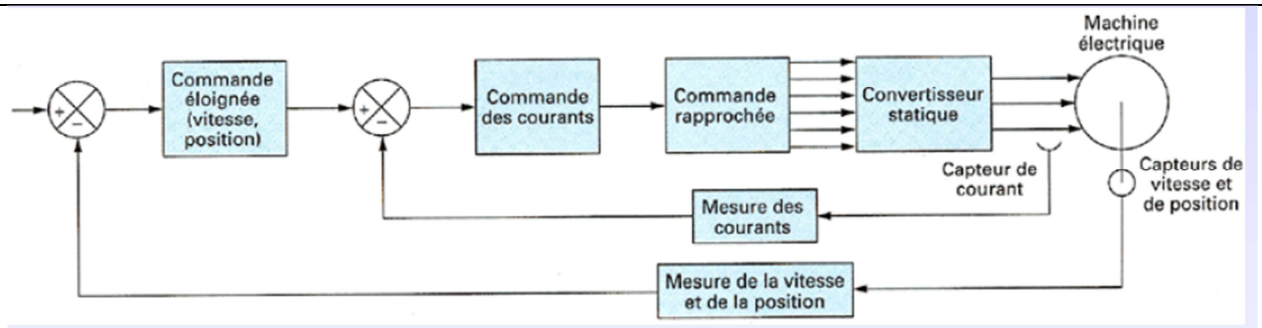
	Specification	unit	value	tolerance
Measured values				
1	Measuring voltage	V	18	-
2	No-load speed	rpm	8300	±10%
3	No-load current	mA	75	max
4	Starting voltage	V	--	max
5	Terminal resistance	Ohm	5.4	±10%
Recommended values				
10	Continuous current (at 22°C)	A	0.92	max
11	Continuous torque	mNm	16.1	max
12	Angular acceleration	10^3 rad/s²	181	max
13	Ambient working temperature range	°C	-30°C to 65°C	typical
14	Rated coil temperature	°C	155	max
Intrinsic parameters				
20	Back-EMF constant	V/1000 rpm	2.03	±8%
21	Torque constant	mNm/A	19.4	±8%
22	Motor regulation R/k2	10^3/Nms	13.71	typical
23	Rotor inductance (@1kHz)	mH	0.6	typical
24	Mechanical time constant	ms	4.5	-
25	Thermal resistance rotor-body	°C/W	6	typical
26	Thermal resistance body-ambient	°C/W	22	typical
27	Thermal time constant – rotor	s	9	typical
28	Thermal time constant –stator	s	550	typical
29	Rotor Inertia	$Kgm^2\ 10^{-7}$	4.8	typical
30	Stall torque	mNm	68	±8%
Customer specifications				
40				
42	Outline dimensions	See drawing, ref.: 1011226001.S11		
43				
Other specifications				
50	End play: <= 150µm			
51	Motor fitted with sleeve bearings			
52	Shaft runout: <=10 µm			
53	Max side load at 5 mm from mounting face: - sleeve bearings 3N			
54	Max axial static force for press-fit: 150N			
55	Viscous damping constant: 0.1 x 10^{-6}Nms			
56	Motor rotation when red wire "+": CW			
57	Graphite/Copper Commutation System – 9 segments			
58				

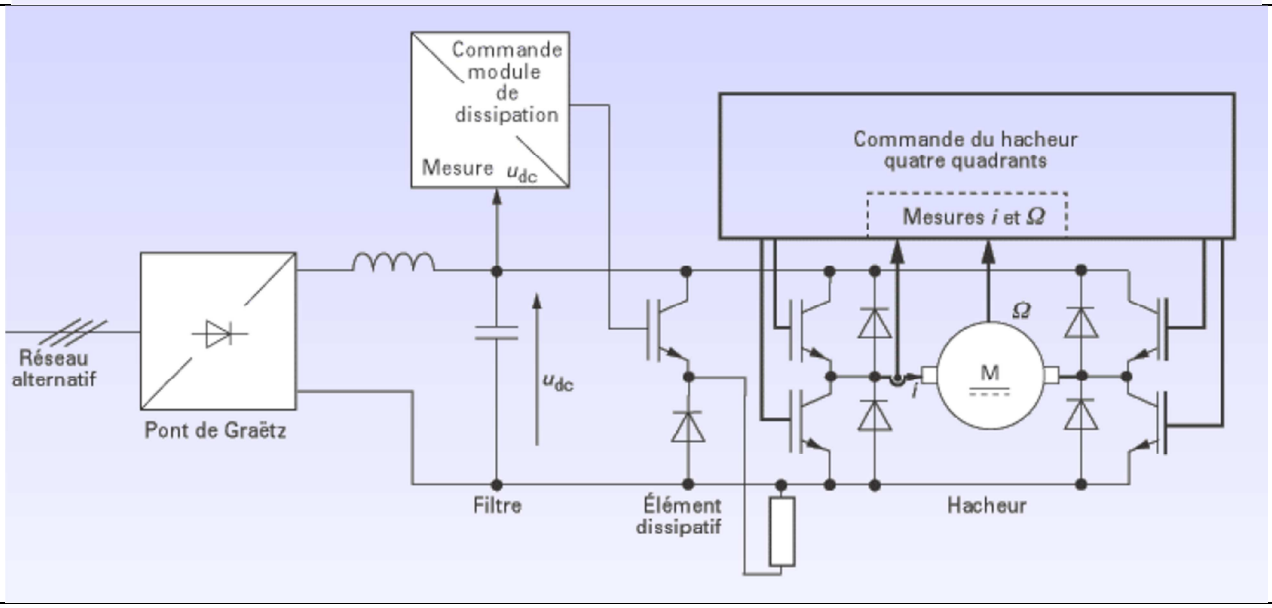
régulation imbriquée position-vitesse-courant



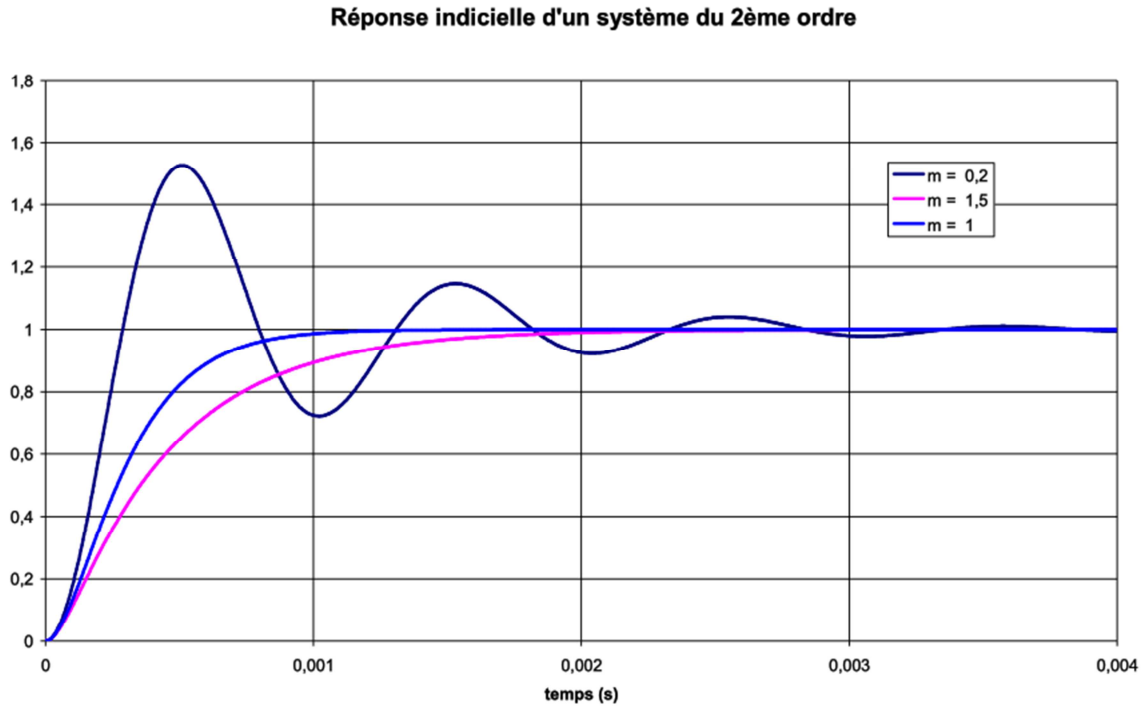
les régulateurs sont ajustés séparément

- régulateur de courant, en fonction du moteur
- régulateur de vitesse, en fonction de la charge mécanique
- régulateur de position, pour assurer la rigidité
  parfois exploitant un autre capteur (en aval du réducteur)





Documents pour l'activité 3



Coefficient d'amortissement m	Régime
$0 < m < 1$	Pseudo-périodique (pulsation : $\sqrt{1-m^2}\cdot\omega_0$)
$m = 1$	Critique
$m > 1$	Apériodique
$m = 0$	Régime oscillant (pulsation ω_0)
$m < 0$	Instable

$$g(t) = g_\infty\left(1-e^{-m\cdot\omega_0\cdot t}\left(\cos\left(\sqrt{1-m^2}\cdot\omega_0\cdot t\right)+\frac{m}{\sqrt{1-m^2}}\sin\left(\sqrt{1-m^2}\cdot\omega_0\cdot t\right)\right)\right)$$

(valable pour $-1 < m < 1$)

$$g(t) = g_\infty\left(1-e^{-m\cdot\omega_0\cdot t}\left(\cos\left(\sqrt{1-m^2}\cdot\omega_0\cdot t\right)+\frac{m}{\sqrt{1-m^2}}\sin\left(\sqrt{1-m^2}\cdot\omega_0\cdot t\right)\right)\right)$$

(valable pour $-1 < m < 1$)